الاعتبارات التقنية الحديثة لحماية العنفات الريحية من الضربات البرقية

الدكتور المهندس علي خضور

أستاذ مساعد في قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة –كلية الهندسة التقنية جامعة طرطوس

الملخص:

إن توربينات الرياح عرضة لآثار الصواعق المباشرة ؛ بسبب موقعها المكشوف وارتفاعها الكبير. أظهرت الدراسات أن ما لا يقل عن 10 ضربات صاعقة مباشرة تحدث على توربينات الرياح في الاستطاعة ذاتها في مجال الـ Mw متوقعة كل عام. للعلم فإن تكلفة العنفة في نظام مزرعة ريحية يشكل ما نسبته 60% (وهو الجزء الأغلى) من إجمالي الاستثمار في المشروع. بالتالي من المهم التعامل مع العنفات الريحية كغيرها من مكونات نظام القدرة لجهة ضرورة حمايتها من الصواعق؛ وبالتالي رفع وثوقيتها ونظم الأمان فيها. فحتى لو كانت الشفرات مصنوعة من المواد البوليميرية، تبقى تمثل الجزء الأكثر جزباً للصواعق، لذلك ينبغي حمايتها بعناية. في الورقة العلمية هذه سنقوم باستعراض الاعتبارات الفنية والتوصيات التقنية المرتبطة بحماية نظم العنفات الريحية من الصواعق؛ بما يساهم برفع وثوقية نظم الشبكات الكهربائية، مع ازدياد اللجوء إلى مصادر الطاقة المتجددة في الشبكة الوطنية السورية.

الكلمات المفتاحية: العنفات الريحية – الشبكة الوطنية السورية– الحماية من الصواعق– الوثوقية – نظام القدرة.

Modern Technical Considerations For Wind Turbines Protection From Lightning Strikes

Dr. Eng. Ali Khaddour

Assistant Professor, Department of of Renewable Energies Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartous University

Abstract:

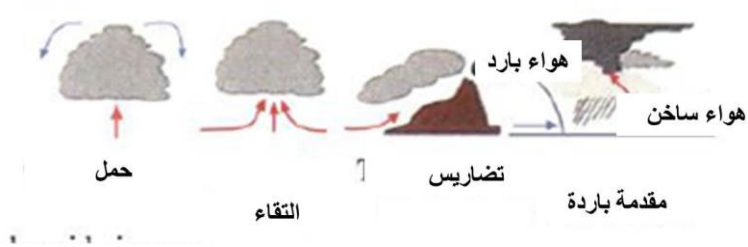
Due to its open position and high altitude, wind turbines are prone to the effects of direct lightning strikes. Studies have shown that at least 10 direct lightning strikes occur on wind turbines at the same capacity in the Mw field expected each year. The cost of the turbine in a wind farm system constitutes 60% (the most part) of the total investment in the project. Therefore, it is important to deal with wind turbines like other components of the power system in terms of the need to protect them from lightning and thus raise their reliability and safety systems. Even if the blades are made of polymeric materials, they remain the most striking part of the lightning strikes, so they must be carefully protected. In this paper, technical considerations and technical recommendations related to the protection of wind turbine systems from lightning will be reviewed in order to increase the reliability of electrical grid systems as the use of renewable energy sources in the Syrian national grid increases.

Keywords: Wind Turbines - Syrian National Network - Lightning Protection - Reliability - Power System.

1 مقدمة:

أصبحت متطلبات الوثوقية للعنفات الريحية أكثر أهمية؛ لاستمرار نمو إسهام طاقة الرياح في ميزان الطاقة العالمي. وأصبحت الحماية البرقية للعنفات الريحية مسألة ذات أهمية قصوى؛ وذلك استناداً إلى موقع نظم العنفات الحديثة وقياسها.

- **ظاهرة البرق:** البرق في الحقيقة ظاهرة طبيعية هائلة مرتبطة بتشكل الغيوم. فكتلة الهواء الرطب تسخن وترتفع إلى الهواء حيث تتشكل الغيمة. يمكن أن ترتفع الكتلة الساخنة والرطبة وفق آليات متعددة كما في الشكل الآتي [1].



الشكل (1): آلية ارتفاع كتلة الهواء البارد.

تسمى الغيوم المنتجة للبرق بالغيوم العاصفة. ويصل ارتفاع الغيوم العاصفة من حوالي 9km إلى 12km ، ويبلغ امتدادها من 24km إلى 35km.

توصف الكرة الأرضية بأنها مشحونة كهربائياً، ويقارن سلوكها بمكثف كروي. يملك الجزء الصلب للأرض شحنة سالبة مقدارها $1\times10^{8}C$،، بينما يملك الجو أو الغلاف شحنة متماثلة موجبة. تشير الإحصاءات والمراقبات إلى حدوث ما يقرب على الأقل من 1000 إلى 2000 عاصفة برقية كل دقيقة على كوكبنا. يمكن تشبيه البرق بمولد كهربائي يحقن التيار إلى الأرض ليعيد بذلك الاستقرار الكهربائي المضطرب نتيجة لتشكل الغيوم العاصفة.

يمكن أن تعطى كفاءة نظام الحماية البرقي الأصغرية وفقاً للمعيار العالمي (IEC 62305-1)، بالمتراجحة الآتية [2]:

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \qquad (1-1)$$

يعطي الجدول الآتي مستويات نظام الحماية البرقية.

الجدول (1): مستويات نظام الحماية البرقية

مستويات الحماية	كفاءة الاعتراض E_i	كفاءة التحجيم E_s	الكفاءة $E=E_i x E_s$
.i	0,99	0,99	0,98
.ii	0,97	0,98	0,95
.iii	0,91	0,97	0,90
.iv	0,84	0,97	0,80

كفاءة الاعتراض E_i: تعني المقدرة على إيقاف الوميض.

كفاءة التحجيم Es: تعني المقدرة على نقل تيار الوميض بأمان.

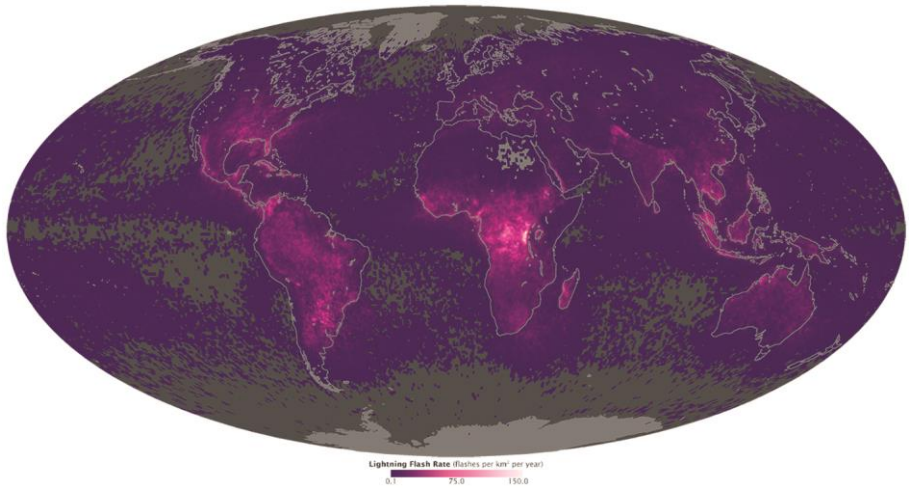
تنويه: يجب أن يكون نظام الحماية البرقي من المستوى الأول (I) قادراً على حمل قيمة التيار الأعظمية الأكبر بدون ضرر.

2 مشكلة البحث وأهميته وهدفه:

تركب العنفات الريحية في العادة في المناطق المرتفعة أو المناطق الجبلية، بالتالي توجد في مناطق غير حصينة أو عرضة للضربات البرقية.

في الشكل الآتي خارطة فعالية الصواعق عالمياً ومنها منطقة شرق البحر الأبيض المتوسط، بالتالي يمكن القول إن هذه الفعالية وفق الشكل تصنف من الدرجة الضعيفة (ضمن المنطقة البنفسجية/حوالي 0,1 flashes per km^2

/per year)، ومنها المناطق الواعدة ريحياً في سورية (وسط سورية)؛ وفقاً لبيانات الأرصاد الجوية من ناسا.



الشكل (2): فعالية البرق العالمية أو بالأحرى المعدل السنوي المتوسط للضربات البرقية بالـ km^2، (المصدر NASA، وذلك للفترة من 1995-2013).

لذا فإن الارتفاع الكبير لتركيبات العنفة يجعلها هدفاً سهلاً أو مرغوباً؛ مما قد يسبب أضراراً بالغة بمكونات العنفة الأساسية [3].

تتجلى أهمية البحث وهدفه في أنه يعرض الاعتبارات التقنية الحديثة لجهة حماية العنفات الريحية، وفق أحدث المعايير والتوصيات التقنية العالمية المعتمدة، مع دراسة حالة العنفات الريحية ذات المحور الأفقي الأكثر استخداماً في نظم توليد الطاقة الكهروريحية، بحيث يقدم البحث توصيات مفيدة للمهندسين العاملين في قطاع تركيب النظم الكهروريحية وحمايتها، بما يعزز في النهاية وثوقية نظم الطاقات المتجددة الرديفة للشبكة السورية.

3 مخاطر الضربات البرقية:

إن الخطوة الأساسية الأولى في تحليل المخاطر يكمن في تقدير تواتر الضربات المباشرة على العنفات الريحية. هذا التواتر هو بالأساس تابع لفعالية البرق في مكان التركيب، وللبنية الجغرافية وأبعاد العنفة. بالتالي فإن تقدير تواتر

الومضات البرقية المباشرة على العنفة الريحية هو الخطوة الأولى في تحليل الخطر.

وإن الخطوة الثانية هي التحرّي فيما إذا كان نظام الحماية البرقية المركب ملائماً أو كافياً. واعتبارات هذه الخطوة في تحليل الخطر يستند إلى حقيقة أنه ليس كل وميض برقي على العنفة الريحية يحدث ضرراً، وذلك اعتماداً على كفاءة نظام الحماية البرقي.

يسمى خطأ نظام الحماية البرقي بالـ "الحدث الحرج". ينص المعيار الدولي (IEC 62305)، على أن عدد الأحداث الحرجة السنوية المسموحة (N_C) يمكن أن يعبر عنه بالعلاقة الآتية [2]:

$$N_C \geq N_d \times (1-E) \qquad (1-2)$$

E: كفاءة نظام الحماية البرقي.

N_d: عدد المعدل المتوسط السنوي للضربات البرقية المباشرة للتركيب.

N_C: العدد السنوي المسموح للأحداث الحرجة.

3-1 دراسة حالة (ضربات على برج عنفة ريحية بدون سلك أرضي):

من حسن الحظ أن الضربات البرقية المباشرة على برج العنفة نادرة الحدوث مقارنة بالضربات الجانبية، فالآثار الناتجة عن تلك الحالة ليست شديدة.

في حال وجود ضربة مباشرة على البرج، سيفرغ التيار من خلال التركيبات المعدنية للبرج، وهناك سيتشكل فرق كمون بين قمة البرج وأسفله.

يبين الشكل الآتي برجاً فولاذيَ (بتحريضية L) لخط نقل بدون سلك أرضي.

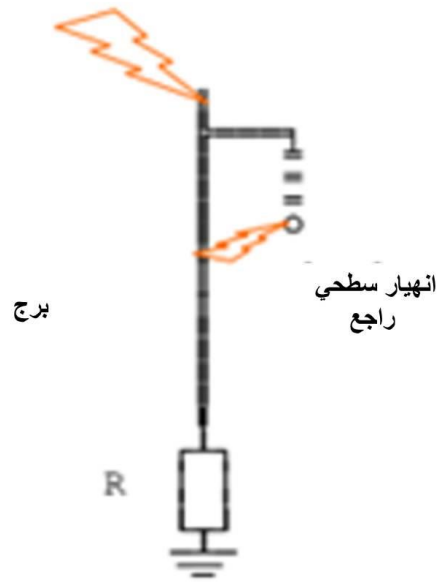
فإذا كانت مقاومة البرج الأرضية R ($=5-100\Omega$)، وفي حال صعقت بالبرق، فإن كموناً سيتشكل على البرج قيمته تساوي:

$$R.i + L\frac{di}{dt} \qquad (1-3)$$

فإذا كانت e_i هو التوتر المتحرض على الناقل بسبب البرق، بالتالي فرق الكمون المتشكل عبر البرج والناقل يصبح من الشكل:

$$e=R.i+L\frac{di}{dt}+e_i \qquad (1-4)$$

عندما تتجاوز e متانة عازلية الخط، سيحدث انهيار سطحي من البرج إلى الخط، ويسمى هذا الانهيار بالانهيار السطحي الراجع (Backflashover).



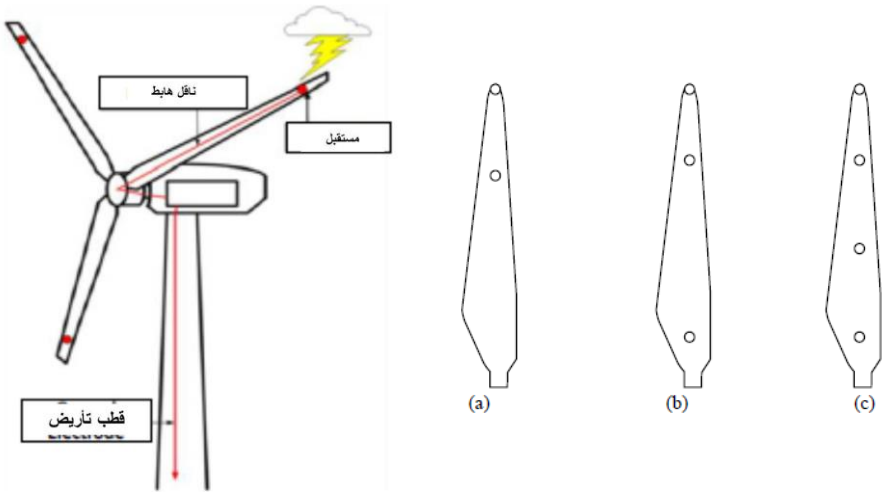
الشكل (3): ضربات برقية مباشرة على برج العنفة.

4 الاضطرابات المحدثة بالضربات البرقية:

بدأ وجود المزارع الريحية ذات المقاس الضخم بالتزايد منذ بداية عام 2000؛ لدرجة أن ارتفاع التركيبات العائدة لمزارع عملاقة قد يتجاوز ارتفاع 130m. ويمكننا تصنيف الاضطرابات الناتجة في مجموعتين:

أ- ضربات برقية على الشفرة:

تعدّ احتمالية تعرض سطوح الشفرات للضربات البرقية كبيرة مقارنة بباقي مكونات العنفات الريحية. بالتالي يتم تزويدها بمستقبلات الصواعق تفادياً للأضرار المحتملة.

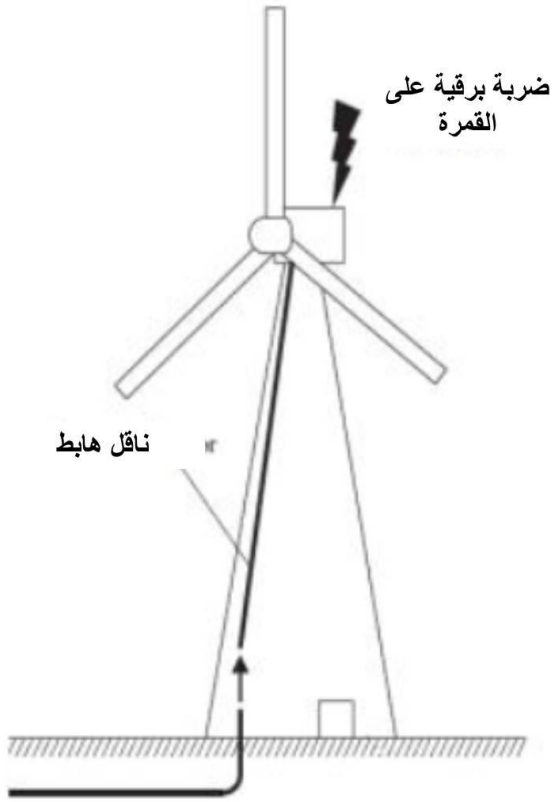


الشكل (4): توضع مستقبلات الشفرات: 2- 3-4 مستقبلات على الترتيب (يمين) ، مخطط نظام الحماية البرقي للمولد الكهروريحي (يسار).

ب- ضربات برقية على القمرة:

تعدّ احتمالية تعرض القمرة بمكوناتها لأضرار الضربات البرقية بالمقارنة أقل، رغم وجود تقارير فنية توثق حوادث قليلة في هذا السياق. أكثر أجزاء القمرة المعرضة للخطر هي لمبة تحذير للطائرات ومقياس سرعة الريح وموجه العنفة، وهذه الأجزاء عملها هام جداً لجهة تشغيل العنفة، فجهاز قياس سرعة الريح وموجه العنفة هي أجهزة ذات أهمية خاصة لجهة الوثوقية والأمان في منظومة العنفة الريحية. فأداء العنفة الريحية يعتمد على إشارات القياس والتغذية العكسية القادمة من مقياس السرعة إلى المتحكم.

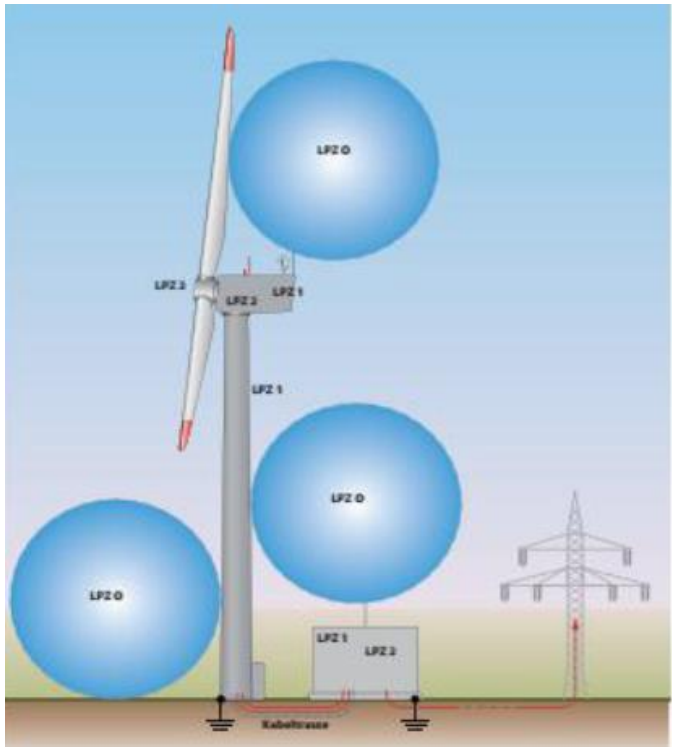
يبين الشكل الآتي المنطقة من القمرة التي يمكن أن تتأثر بالضربة البرقية.



الشكل (5): مثال لضربة برقية على القمرة.

5 ترتيب مناطق الحماية البرقية:

سنعتمد هنا ترتيب مناطق الحماية البرقية (LPZ= Lightning protection Zones) وفقاً لمعايير الحماية من الصواعق المعتمدة عالمياً وهي IEC 62305 ، و(DIN EN 62305(VDE 0185305-x ، كما هو مبين في الشكل [2].



الشكل (6): مناطق الحماية البرقية (LPZ).

يمكن أن توجد LPZ1-2 داخل محطة التحويل. نقطة الانتقال من LPZ0 إلى LPZ1 تحدد عند نقطة النقل للشبكة الكهربائية الوطنية إلى محطة التحويل. LPZ2 تخص أيضاً محطة التحويل عند احتوائها على تجهيزات تحكم واتصالات، وغير ذلك من تجهيزات التحكم والمراقبة والمبدلات الإلكترونية. القمرة نفسها تتوزع إلى مناطق LPZ1 وLPZ2.

بالتالي فإن تصميم الحماية البرقية الخارجية، واختيار موقفات التيار البرقية من الصنف 1 (CLASS I) يعتمد على صنف الحماية البرقي للعنفة الريحية. و وفقاً للتوصيات العالمية فإن العنفات الريحية بارتفاع صرة أقل من 60m فإنها تدرج ضمن الحماية البرقية من الصنف 3 (CLASS III). بالنسبة إلى

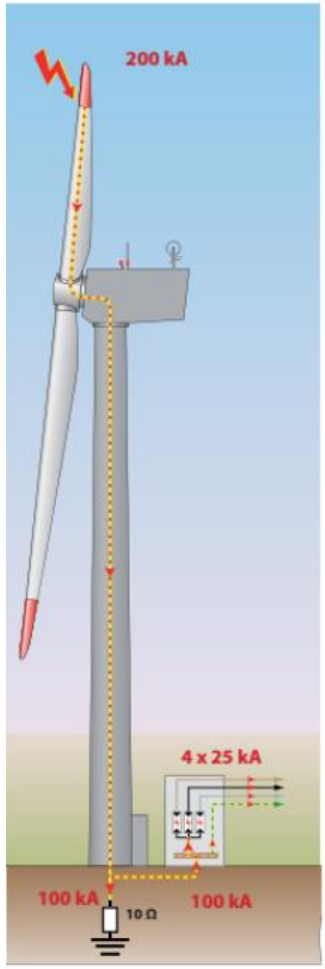
ارتفاعات صرة أكبر من 60m فإنها تدرج ضمن الحماية البرقية من الصنف 2 (CLASS II).

6 تقسيم التيارات المحتملة للنبضة البرقية:

وفقاً لمستوى الحماية البرقي (LPL=Lightning Protectuion Level) أو صنف الحماية البرقية 1 إلى 4 (CLASSES 1 to 4)، فإن تيارات النبضة البرقية في المجال من 100 إلى 200kA (10/350μs) يمكن أن تحدث في عنفة ريحية، خصوصاً عندما يضرب البرق بشكل مباشر الشفرات.

تنقسم تيارات النبضة البرقية كما يأتي:

50% تقريباً يتدفق مباشرة إلى نظام القطب الأرضي، وما تبقى بالتقريب (50%) يتناثر عبر خطوط تغذية الحمل، على فرض أن هناك توزيعاً متساوياً لخطوط التغذية المختلفة (توازن الأطوار).



الشكل (5): تقسم التيارت البرقية.

7 المبدأ الأساسي للحماية:

الشكل (6): مخطط كل مكونات العنفة الريحية المطلوب حمايتها:

1: حماية أضواء تحذير الطيران وحساسات الطقس.

2: حماية أجهزة التغذية (230/400V) لنظم القياس وأجهزة التحكم.

3: حماية صرة الشفرات.

4: حماية المولد والثابت والدوار.

5: حماية المعرج.

6: حماية حاوية لوحة المفاتيح والتحكم.

7: حماية نظم الاتصالات.

8: الحماية من البرق والتفريغ.

المعرجات الترددية والمقلعات الثايرثتورية بجهد تحمل منخفض، تحمى ضد التيارات البرقية الجزئية والجهود العابرة، بواسطة ثغرات شرارة من الصنف (CLASS I)، وذلك عند مستوى جهد قدره 690V؛ والذي يعدّ قيمة مميزة للعنفات الريحية.

يحمى المولد في (LPZ1) بموقفات الصدمة من الصنف (CLASS II) من جهة الثابت والدوار.

بالنسبة إلى تجهيزات التحكم داخل الصرة فإنها توضع في LPZ.، بالنسبة إلى المبة الإشارة فإنها توضع أعلى القمرة في LPZ0، بالنسبة إلى مصدر تغذية علبة التحكم يكون في LPZ2، ويحمى بموقفات الصنف (CLASS II)، [4].

8 الخاتمة:

تزايد الاعتماد على نظم الطاقة الريحية في توليد الطاقة الريحية، يقتضي الأخذ بالحسبان الحوادث البرقية التي يمكن أن تهدد وثوقية مثل هذه النظم، التي تتميز بالارتفاع المعتبر (الارتفاع الكلي متضمناً ارتفاع طرف الشفرة)، تبعاً للاستطاعة المركبة. بناءً على الدراسة فإنه، ووفقاً لقياسات التيارات المرتبطة بالانفراغات البرقية، يجب تنفيذ حماية فعالة للعنفة ضد الضربات البرقية استناداً إلى مبدأ الـ LPZ. عندئذ نضمن تخفيض خطر التيارات البرقية إلى المجالات المسموحة في المعيار الدولي IEC. علماً بأن الحوادث البرقية هي حوادث احتمالية تتعلق بظروف الطقس والموقع. إذن، من الأهمية بمكان إجراء دراسة لتحليل المخاطر المرتبطة بإنشاء أو تركيب العنفات الريحية الإفرادية أو على شكل مزارع، تفادياً للخسائر المحتملة، ومن أجل رفع عامل الأمان للنظم قيد التركيب؛ بما يعزز ثقة المستثمر لجهة اطمئنانه على عدم احتمال ضياع رأس المال.

9 المراجع References:

[1] Rodrigeus R.B., and another, Lightning Surges on Wind Power Systems, EII in Power Electronics and Power Systems, 2011.
[2] IEC 62305-1, Protection of structures against lightning, General Priciples, 2006.
[3] National Space Science and Technology Center, NASA, 2013.
[4] Lightning and Surge Protection for Wind Turbines", Copyright DEHN and SOEHNE 2018.